

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2002-542623

(P2002-542623A)

(43)公表日 平成14年12月10日 (2002.12.10)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 0 1 L 21/3065  
H 0 5 H 1/46

識別記号

F I  
H 0 5 H 1/46  
H 0 1 L 21/302

テ-7コ-ト (参考)  
A 5 F 0 0 4  
F

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 34 頁)

(21)出願番号 特願2000-612994(P2000-612994)  
(86) (22)出願日 平成12年4月6日 (2000.4.6)  
(85)翻訳文提出日 平成13年10月18日 (2001.10.18)  
(86)国際出願番号 PCT/US00/09447  
(87)国際公開番号 WO00/63960  
(87)国際公開日 平成12年10月26日 (2000.10.26)  
(31)優先権主張番号 09/295, 634  
(32)優先日 平成11年4月20日 (1999.4.20)  
(33)優先権主張国 米国 (US)  
(81)指定国 E P (A T, B E, C H, C Y, D E, D K, E S, F I, F R, G B, G R, I E, I T, L U, M C, N L, P T, S E), J P, K R

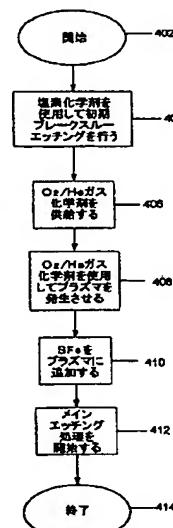
(71)出願人 ラム・リサーチ・コーポレーション  
LAM RESEARCH CORPORATION  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州94538  
-6516 フリモント, クッシング・パーク  
ウェイ, 4650, ピー-0508. ピーシーティ  
(72)発明者 マクレイノルズ・ダーレル  
アメリカ合衆国 アリゾナ州85048 フェ  
ニックス, イースト・グレンヘイブン・ド  
ライブ, 2474  
(74)代理人 特許業務法人 明成国際特許事務所

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 深開口部を形成するためにプラズマ処理室内でシリコン層をエッティングする方法

(57)【要約】

超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタにおいてシリコン層をエッティングする方法を示す。この方法は、シリコン層を含む半導体基板をプラズマエッティングリアクタに供給し、酸素反応ガス、ヘリウムガス、及び不活性衝撃強化ガスを含むエッティングガスをプラズマエッティングリアクタに流入させるステップを含む。この方法は更に、エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させ、次に、プラズマを発生させた後のプラズマエッティングリアクタに、S F 6 を含む添加ガスを供給することを含む。この方法では、引き続き、このプラズマを使用して、少なくとも部分的にシリコン層を通じて、開口部をエッティングする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも $10\mu\text{m}$ のエッティング深度を有する超深トレンチを形成するために誘導結合プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記シリコン層を含む半導体基板を前記誘導結合プラズマエッティングリアクタ内に導入するステップと、

実質的にヘリウムガス、 $\text{O}_2$ ガス、及びアルゴンガスで構成されるエッティングガス化学剤を前記誘導結合プラズマエッティングリアクタに流入させるステップと、

前記エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させるステップと、

前記プラズマの発生の後に、前記誘導結合プラズマエッティングリアクタに $\text{SF}_6$ ガスを供給するステップであって、前記 $\text{SF}_6$ ガスに対する前記ヘリウムガスの流量比が約350%ないし約550%であり、前記 $\text{SF}_6$ ガスに対する $\text{O}_2$ の流量比が約60%ないし約90%であり、前記 $\text{SF}_6$ ガスに対する前記アルゴンガスの流量比が約350%ないし約550%であるステップと、

少なくとも部分的に前記シリコン層に前記超深トレンチをエッティングするステップと、を備える方法。

【請求項2】 請求項1記載の、超深開口部を形成するために誘導結合プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

自然酸化膜層が前記シリコン層上に形成され、

塩素含有ガス化学剤が前記誘導結合プラズマエッティングリアクタ内に流入され、

前記塩素含有ガス化学剤は、前記シリコン層の前記エッティングのための前記エッティングガス化学剤の流入に先立って、前記自然酸化膜層を貫通してエッティングするために使用される、エッティング方法。

【請求項3】 請求項1記載の、超深開口部を形成するために誘導結合プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記 $\text{SF}_6$ ガスに対する前記アルゴンガスの流量比が約350%ないし約550%である、エッティング方法。

【請求項4】 請求項1記載の、超深開口部を形成するために誘導結合プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記超深開口部の前記エッティングが約30μmないし約60μmのエッティング深度まで継続される、エッティング方法。

【請求項5】 請求項1記載の、超深開口部を形成するために誘導結合プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマの前記発生が約5秒ないし約10秒の期間にわたって持続する、エッティング方法。

【請求項6】 超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記シリコン層を含む半導体基板を前記プラズマエッティングリアクタ内に導入するステップと、

ヘリウムガス、酸素反応ガス、及び不活性衝撃強化ガスを含むエッティングガス化学剤を前記プラズマエッティングリアクタ内に流入させるステップと、

前記エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させるステップと、

前記プラズマの発生の後に、前記プラズマエッティングリアクタ内にフッ素含有添加ガスを供給するステップと、

少なくとも部分的に前記シリコン層に前記超深開口部をエッティングするステップと、を備える方法。

【請求項7】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

自然酸化膜層が前記シリコン層上に形成され、

塩素含有ガス化学剤が前記プラズマエッティングリアクタ内に流入され、

前記塩素含有ガス化学剤は、前記シリコン層の前記エッティングのための前記エッティングガス化学剤の流入に先立って、前記自然酸化膜層を貫通してエッティングするために使用される、エッティング方法。

【請求項8】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記不活性衝撃強化ガスがアルゴンである、エッティング方法。

【請求項9】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッチングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記不活性衝撃強化ガスがキセノンである、エッティング方法。

【請求項10】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記半導体基板がシリコンウェーハである、エッティング方法。

【請求項11】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記超深開口部がトレンチである、エッティング方法。

【請求項12】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記S F<sub>6</sub>ガスに対する前記不活性衝撃強化ガスの流量比が約350%ないし約550%である、エッティング方法。

【請求項13】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記フッ素含有添加ガスがS F<sub>6</sub>である、エッティング方法。

【請求項14】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記フッ素含有添加ガスがC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、C F<sub>4</sub>、N F<sub>3</sub>、及びC H F<sub>3</sub>のいずれかである、エッティング方法。

【請求項15】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記超深開口部の前記エッティングが約30μmないし約60μmのエッティング深度まで継続される、エッティング方法。

【請求項16】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、前記プラズマエッティングリアクタの下部電極温度が約15℃ないし約60℃である、エッティング方法。

【請求項17】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエ

ッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマエッキングリアクタの処理室圧力が約50mTorrないし約60mTorrである、エッティング方法。

【請求項18】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマの前記発生が約5秒ないし約10秒の期間にわたって持続する、エッティング方法。

【請求項19】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマエッキングリアクタの最大電力が約400Wないし約1000Wである、エッティング方法。

【請求項20】 請求項6記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマエッキングリアクタが誘導結合プラズマエッキングリアクタである、エッティング方法。

【請求項21】 深開口部を形成するためにプラズマエッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記シリコン層を含む半導体基板を前記プラズマエッキングリアクタ内に導入するステップと、

ヘリウムガス、及び酸素反応ガスを含むエッティングガス化学剤を前記プラズマエッキングリアクタ内に流入させるステップと、

前記エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させるステップと、

前記プラズマの発生の後に、前記プラズマエッキングリアクタ内にフッ素含有添加ガスを供給するステップと、

少なくとも部分的に前記シリコン層に前記深開口部をエッティングするステップであって、前記シリコン層の前記エッティングが前記プラズマを使用して行われるステップと、を備える方法。

【請求項22】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッキングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

自然酸化膜層が前記シリコン層上に形成され、  
塩素含有ガス化学剤が前記プラズマエッティングリアクタに流入され、  
前記塩素含有ガス化学剤は、前記シリコン層の前記エッティングのための前記エッティングガス化学剤の流入に先立って、前記自然酸化膜層をエッティングするため  
に使用される、エッティング方法。

【請求項23】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記半導体基板がシリコンウェーハである、エッティング方法。

【請求項24】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記深開口部がトレンチである、エッティング方法。

【請求項25】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記フッ素含有添加ガスがSF<sub>6</sub>である、エッティング方法。

【請求項26】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記フッ素含有添加ガスがC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>、及びCHF<sub>3</sub>のいずれかである、エッティング方法。

【請求項27】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記深開口部の前記エッティングが約10μmないし約15μmのエッティング深度まで継続する、エッティング方法。

【請求項28】 請求項21記載の、超深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記SF<sub>6</sub>ガスに対する前記ヘリウムガスの流量比が約350%ないし約550%である、エッティング方法。

【請求項29】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、  
前記プラズマエッティングリアクタの処理室圧力が約40mTorrないし約1

0.0 mTorr である、エッティング方法。

【請求項30】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマの前記発生が約5秒ないし約10秒の期間にわたって持続する、エッティング方法。

【請求項31】 請求項21記載の、深開口部を形成するためにプラズマエッティングリアクタ内でシリコン層をエッティングする方法であって、

前記プラズマエッティングリアクタの最大電力が約300Wないし約2000Wである、エッティング方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の背景】**

本発明は半導体集積回路（IC）の製造に関する。特に、本発明はアスペクト比が高い深開口部を形成すべくプラズマ処理室内でシリコン層をエッチングするための改良された方法に関する。

**【0002】**

半導体ICの製造において、コンポーネントトランジスタ等のデバイスは、通常はシリコンで作成される半導体ウェーハ又は基板上に形成することができる。深開口部は、アスペクト比が35:1よりも高い可能性があり、例えば、蓄電のために、独立したコンデンサを形成する目的でシリコンにエッチングされ、或いはMEMSデバイス応用装置にエッチングされる。約3μmないし約10μmのエッチング深度を有する開口部は深開口部と呼ばれ、約10μmより大きなエッチング深度を有する開口部は超深開口部と呼ばれる。こうした数値範囲は本発明を説明する上での指針として提示されるものであり、本発明に任意の制限を定めることを意図するものではない。例えば、超深開口部をエッチングする方法は、これよりも浅い開口部をエッチングする場合でも同等に効果的であると考えられる。

**【0003】**

この説明を容易にするために、図1では、従来技術のエッチングガス化学剤を利用して深開口部をエッチングする、従来技術の方法に関するステップを示している。この従来技術の方法は102で開始され、この時、基板はプラズマ処理室に供給され、104において、例えばCF<sub>4</sub>とすることが可能なフッ素化学剤を使用して初期ブレーカスルーエッチングが開始される。この初期エッチング段階の後、メインエッチングステップの準備が行われ、これは106において、SF<sub>6</sub>／O<sub>2</sub>／Heエッチングガス化学剤を供給することで開始され、108において、このガス化学剤を使用してプラズマを発生させる。その後、110において、例えば、約5.5μmの深度を有するトレンチ等のシリコン層の深開口部をエッチングするためにプラズマを使用してメインエッチングが開始される。深ト

ンチのエッティングが達成された後、112に示すように、この処理は完了する。

#### 【0004】

図2は、上にマスキング層を有するシリコン層に設けられ約5.5  $\mu\text{m}$ のエッティング深度を有する深開口部の例を示す断面図である。この深開口部は、図1で提示した従来技術のエッティング方法を使用してエッティングされたものである。上にマスキング層204を配置されたシリコン層202は、深トレンチ206を形成するためにエッティングされている。マスキング層204は従来のフォトレジスト材料の層とすることが可能であり、フォトレジスト材料は、例えば、紫外線に晒すことにより、エッティング用のパターン形成が可能なものとすることができる。約1.5  $\mu\text{m}$ ／分のエッティング速度が達成される。図1で説明したエッティング方法を使用してエッティングされた深トレンチ206は、例えば、側壁の弓状特徴部208及びノッチ状特徴部210などの多数の構造的欠陥を有する。これらは、ハードマスクのアンダーカットによって生じたものである。

#### 【0005】

図2に直接例示されてはいないが、深トレンチのエッティングにおいて発生する可能性のあるその他の問題としては、非垂直エッティング断面、低いエッティング速度、不適切なエッティング深度、RIEラグ、低いTEOS/Si選択性、CD (critical dimension) バイアス、及びシリコンの不均一性が含まれる。こうした問題のいくつかは、大きなエッティング深度及び高いアスペクト比を有する開口部をエッティングすることを試みるまでは現れないが、あるいは問題を引き起こすほどに深刻なものにならないかもしれない。当業者は、現在の技術において一般に使用されているものよりも深く狭い開口部の使用を求める業界の急速な進歩と共に、前記の問題点が発生することを理解するべきである。

#### 【0006】

上述したことから、先に説明した多数の問題点の一部又は全部を回避すると同時に、シリコン層において深く狭い開口部をエッティングするような改良された手法が望まれる。

#### 【0007】

### 【発明の概要】

前記およびその他の目的を達成するために、そして、本発明の目的にしたがつて、プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層に深開口部をエッティングする方法が開示される。この方法は、シリコン層を含む半導体基板をプラズマエッティングリアクタに供給し、メインエッティングのために、酸素反応ガスを含むガス化学剤及びヘリウムガスをプラズマエッティングリアクタに流入させるステップを含む。この方法は更に、エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させ、次に、プラズマを発生させた後のプラズマエッティングリアクタに、例えばSF<sub>6</sub>等を含むフッ素含有添加ガスを供給することを含む。この方法では、引き続き、このプラズマを使用して、少なくとも部分的にシリコン層に対して、開口部をエッティングする。好適な実施形態において、シリコン層の上に配置される可能性がある自然酸化膜層を貫通してエッティングするために、メインエッティングガス化学剤の流入の前に塩素含有化学剤が供給される。

### 【0008】

本発明の別の実施形態においては、プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層に超深開口部をエッティングする方法が開示される。この方法は、シリコン層を含む半導体基板をプラズマエッティングリアクタに供給し、メインエッティングのために、酸素反応ガス、ヘリウムガス及び不活性衝撃強化ガスを含むガス化学剤をプラズマエッティングリアクタに流入させるステップを含む。この方法は更に、エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させ、次に、プラズマを発生させた後のプラズマエッティングリアクタに、例えばSF<sub>6</sub>を含むことが可能なフッ素含有添加ガスを供給することを含む。この方法では、引き続き、このプラズマを使用して、少なくとも部分的にシリコン層に、開口部をエッティングする。好適な実施形態においては、シリコン層の上に配置される可能性がある自然酸化膜層を貫通してエッティングするために、不活性衝撃強化ガスとしてアルゴンが選択され、メインエッティングガス化学剤の流入の前に塩素含有化学剤が供給される。

### 【0009】

本発明のその他の態様及び利点は、以下の詳細な説明によって、そして本発明の原理を例示する添付図面を参照することで、明らかとなろう。

## 【0010】

## 【好適な実施形態の詳細な説明】

以下、添付図面に例示されたいくつかの好適な実施形態を参照して本発明を詳細に説明する。本発明の一態様による本発明のエッティング処理は、正確に制御された側壁角度を有する、深く、アスペクト比が高い開口部を作成する複雑な応用である。本発明の処理を使用して達成されるエッティング深度は、約  $30 \mu\text{m}$  以上に達することが可能であり、アスペクト比は約 10 : 1 よりも大きく、約 35 : 1 の高さになる場合もある。側壁角度は一般に、約 87 度よりも大きい。

## 【0011】

本発明を応用することによって得られる望ましい結果は、ほぼ垂直な断面、高いエッティング速度／深度、最低限の RIE ラグ及び CD バイアス、高い TEOS / Si 選択性及びシリコン均一性等の、あらゆる望ましい特性を有するシリコン層の深開口部を達成することである。以下の説明においては、本発明の完全な理解を提供するために多数の特定の詳細について述べる。しかしながら、当業者にとって、こうした特定の詳細の一部又は全部がなくとも、本発明を実施できることは明らかである。別の事例においては、本発明を必要に曖昧にしないために、広く知られた処理ステップについては詳細に説明していない。

## 【0012】

本発明の一態様において、プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層に深開口部をエッティングする方法が開示される。この方法は、シリコン層を含む半導体基板をプラズマエッティングリアクタに供給し、メインエッティングのために、酸素反応ガス及びヘリウムガスを含むガス化学剤をプラズマエッティングリアクタに流入させるステップを含む。この方法は更に、エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させ、次に、プラズマを発生させた後のプラズマエッティングリアクタに、例えば SF<sub>6</sub> 等を含むフッ素含有添加ガスを供給することを含む。ついで、この方法では、このプラズマを使用して、少なくとも部分的にシリコン層に対して、開口部をエッティングする。好適な実施形態において、シリコン層の上に存在する可能性がある自然酸化膜層を貫通してエッティングするために、メインエッティングガス化学剤の流入の前に塩素含有化学剤が供給される。

## 【0013】

本発明の別の実施形態においては、プラズマエッティングリアクタ内でシリコン層に超深開口部をエッティングする方法が開示される。この方法は、シリコン層を含む半導体基板をプラズマエッティングリアクタに供給し、メインエッティングのために、酸素反応ガス及び不活性衝撃強化ガスを含むガス化学剤をプラズマエッティングリアクタに流入させるステップを含む。この方法は更に、エッティングガス化学剤を使用してプラズマを発生させ、次に、プラズマを発生させた後のプラズマエッティングリアクタに、例えばSF<sub>6</sub>等を含むフッ素含有添加ガスを供給することを含む。つづいて、この方法では、このプラズマを使用して、少なくとも部分的にシリコン層を通じて、開口部をエッティングする。好適な実施形態においては、シリコン層の上に存在する可能性がある自然酸化膜層を貫通してエッティングするために、不活性衝撃強化ガスとしてアルゴンが選択され、メインエッティングガス化学剤の流入の前に塩素含有化学剤が供給される。

## 【0014】

好適な実施形態において、本発明は誘導結合プラズマリアクタにおいて利用される。誘導結合プラズマリアクタとしては、例えば、カリフォルニア州フレモンのラムリサーチコーポレーションから入手可能な9400PTX（商標）プラズマリアクタ等のTCP（商標）ブランドのプラズマリアクタがある。図3では、本発明を実施するのに好適なプラズマ処理リアクタを表す誘導結合プラズマリアクタの簡略図を示している。図3では、ウェーハリアクタ302はプラズマ処理室304を含む。処理室304の最上面には、石英窓306が配置され、これは高周波エネルギーが処理室に入ることを可能にする透明な媒体の役割を果たす。プラズマ処理室304の上に位置するコイル308は、この高周波エネルギーを放出し、その高周波エネルギーは、発電器310によって供給される。発電器310は、約300Wないし約2000Wの範囲の電力、好ましくは約400Wないし約1200Wの範囲の電力、更に好ましくは一実施形態において約1000Wとすることが可能な電力を発生させる。

## 【0015】

処理室304内では、エッティングガス化学剤が、ガス送出口312を通じて、

石英窓306とウェーハ316との間の高周波誘導プラズマ領域314に放出される。このエッチングガス化学剤は、処理室自体の壁に組み込まれた他のポートから放出することもできる。ウェーハ316は処理室304に搬入され、発電器320によって作動する底部電極として機能する静電チャック318上に配置される。発電器320は、約20Wないし約100Wの範囲、好ましくは約20Wないし約30Wの範囲、更に好ましくは一実施形態において約25Wの電力を発生させる。ヘリウム冷却ガスを、静電チャック318とウェーハ316との間に、加圧して（約4ないし14 Torr、好ましくは約6ないし10 Torr、更に好ましくは一実施形態において、例えば約8 Torr）導入する態様とすることができます。このヘリウム冷却ガスは、均一で反復可能なエッチング結果を確保するために、処理中のウェーハ温度を正確に制御する熱伝達媒体の役割を果たす。静電チャック318の温度は、約0℃ないし約70℃、好ましくは約15℃ないし約60℃、更に好ましくは一実施形態において約20℃に維持することが可能であり、処理室の温度は、約20℃ないし70℃、好ましくは約40℃ないし約70℃、更に好ましくは一実施形態において約50℃に維持することができる。プラズマエッチング中、プラズマ処理室304内の圧力は低く維持され、例えば、約40mTorrないし約110mTorr、好ましくは約50mTorrないし約100mTorr、更に好ましくは一実施形態において約60mTorrとなる。

#### 【0016】

図4は、本発明の一態様による、深開口部をエッチングするための第一の発明方法に含まれるステップを示している。本発明方法は、402で開始され、この時、基板はプラズマ処理室内の下部電極上に配置される。下部電極は、静電チャックであってもよい。下部電極温度は約30℃に維持される。これは従来技術の方法における約50℃の下部電極温度よりも大幅に低い。下部電極温度を低くすることで、CDバイアスが最小化されると考えられ、その結果、エッチングされた開口部の深さ方向全体についての断面エリアの均一性が高まる。この例では、約0.03未満のCDバイアスが達成される。

#### 【0017】

404において、塩素含有化学剤が初期ブレークスルーエッティングのために供給される。この塩素含有化学剤は、こうした初期ブレークスルーエッティングの目的を達成する上で、従来技術で使用されるフッ素含有化学剤よりも効果的であることが分かっている。塩素含有化学剤は、通常シリコンが空気中の酸素と反応する時にシリコン層上に形成される自然酸化膜層を貫通して、エッティングする。塩素含有化学剤を使用することで、更に、図2に示すようなエッティング結果における弓状特徴部208を排除することができると考えられる。406において、酸素及びヘリウムを含むガス化学剤が供給され、その後、108において、このガス化学剤を使用してプラズマが発生される。SF<sub>6</sub>等のフッ素含有ガスは、このエッティング化学剤において有用な要素であるが、この反応ガス要素は、プラズマの発生中は、垂直フラッシュ効果を回避するために、意図的に除外される。垂直フラッシュ効果は、ハードマスクとシリコンの境界におけるアンダカットを発生させ、その結果、開口部の側壁に沿ってノッチ状構造を発生させる恐れがある。SF<sub>6</sub>が存在しない状態でのプラズマ発生動作は、一定の期間、例えば7秒間にわたって持続させることができる。プラズマ発生後、410において、SF<sub>6</sub>がプラズマ処理室に追加され、その後、メインエッティングが開始される。この処理は、414において、深開口部のエッティングが完了した時に終了する。SF<sub>6</sub>の代わりにすることが可能なその他のガスには、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>、及びCHF<sub>3</sub>が含まれる。

#### 【0018】

図5aは、本発明の一実施形態にしたがって本発明のエッティング方法を使用してエッティングしたシリコン層504の深開口部502の断面図を示している。こうした結果は、この新しい方法が、約3.5 μm/分の増加したエッティング速度を達成することが可能であり、従来技術の方法を使用した際の問題を発生させることなく、約10 μmないし約15 μmの深さのエッティング深度を有する開口部をエッティングするのに効果的であることを示している。例えば、深開口部502は、約505 μmのエッティング深度を有し、直線垂直断面を有しており、問題のある特性を有していない。その問題のある特性というものは、図2に示したような従来技術の方法を使用してエッティングした深開口部に生じる、ハードマスクのア

ンダカットの結果である弓状特徴部及びノッチ状特徴部等の特性である。

### 【0019】

図5bは、図5aとほぼ同じ発明エッチング方法及びパラメータを使用して、シリコン層で超深開口部をエッチングすることを試みて得られた結果の断面図である。ただし、微少寸法制御を更に改善することを試みて、下部電極温度を更に20℃に下げられている。この図では、約 $13\mu\text{m}$ のエッチング深度を有するシリコン層514の深開口部512を示されている。達成された平均エッチング速度は、約 $1.6\mu\text{m}/\text{分}$ であった。この事例で計算された平均エッチング速度が実際のエッチング速度を完全に反映しているかどうかは疑わしい。なぜならば、このエッチングは目標とされたエッチング深度である $30\mu\text{m}$ に到達できなかつたためであり、実際には、指定エッチング時間である500秒が終了する前に、約 $15\mu\text{m}$ のエッチング深度でエッチングの停止が発生した。深開口部512はほぼ垂直な断面を有しているが、最上面近くでは、ハードマスクのアンダカットの再発により、開口部の側壁が後退している。これにより、後退が発生したレベルからエッチング開口部の最上端部までに傾斜断面516が生じている。そのため、アスペクト比の高い深開口部をエッチングすることができる別の改善された方法が必要とされる。必要とされるエッチング方法は、 $15\mu\text{m}$ よりも大きな深度を有し、ほぼ垂直な断面、高いエッチング速度/深度、低い微少寸法バイアス、高いTEOS/Si選択性、最低限のRIEラグ、及び高いシリコン均一性等の望ましい特性を有する開口部をエッチングすることが可能なエッチング方法である。

### 【0020】

図6は、本発明の別の態様による第二のエッチングガス化学剤を使用して深開口部をエッチングする第二の発明方法に含まれるステップを示しており、これは602で開始される。604において、初期ブレークスルーエッチングのために塩素化学剤が供給される。606において、酸素反応物質、ヘリウム、及び不活性衝撃強化ガス（アルゴン等）を有するガス化学剤が供給される。このガス化学剤の流入後、608において、このガス化学剤を使用してプラズマが発生される。前の発明方法と同じく、フッ素含有反応ガス要素は、このエッチング化学剤に

において有用な要素であるが、この反応ガス要素はプラズマの発生中は、垂直フラッシュ効果を回避するために、意図的に除外される。垂直フラッシュ効果は、ハードマスクとシリコンの境界でのアンダカットを発生させ、その結果、開口部の側壁に沿ってノッチ状構造を発生させる恐れがある。S F<sub>6</sub>等のフッ素含有化学剤が存在しない状態でのプラズマ発生動作は、一定の時間、例えば7秒間にわたって持続させることができる。プラズマ発生後、610において、S F<sub>6</sub>がプラズマ処理室に追加され、その後、612でメインエッチングが開始される。この処理は、614において、深開口部のエッチングが完了した時に終了する。

#### 【0021】

図7は、本発明の一実施形態による第二の発明方法を使用してエッチングしたシリコン層の開口部の断面図を示している。商業的に許容できるエッチング結果を達成するために、一実施形態において、最大電力を増加させ、処理室の圧力を低下させてエッチング処理を強化し、これによりエッチング停止の可能性を最小限にする。アルゴンの追加も、イオン衝突の強化に貢献する。この図では、約30:1よりも大きな高アスペクト比を有する、約30μmの超深開口部702が、シリコン層704にエッチングされている。この事例では、3.6μm/分のエッチング速度が達成された。更に、この図で確認できるように、側壁断面は、優れたCD制御によりほぼ垂直である。これは、同等の深度及びアスペクト比の開口部をエッチングする場合に、非常に達成が困難なことである。

#### 【0022】

超深開口部をエッチングする本発明方法の重要な特徴は、アルゴンやキセノン等の不活性衝撃強化ガスを含めることである。こうした不活性衝撃強化ガスの追加は、ハードマスクのアンダカットを排除する役割を果たす可能性があり、これにより、側壁断面の制御に役立つ可能性があると考えられる。アルゴン等の重い不活性ガスを、全体のガス流量に追加することは、RIEラグの問題の改善にも貢献すると考えられる。RIEラグは、エッチング中の異なる開口部間でのエッチング速度の差異である。通常、RIEラグは、異なる特徴サイズを有する開口部で発生するが、場合によっては、同じサイズの特徴部において発生する。後者の状況は、エッチングを継続するのに十分な反応イオンが開口部に存在していな

い時に発生すると考えられる。不活性衝撃強化ガスを全体のガス流量に追加すると、エッティング処理におけるイオン衝突が強化されて、この問題が緩和され、その結果、重合体形成及び断面への影響を発生させずに、エッティング停止条件を減少させることができる。

#### 【0023】

アルゴン等の重いガスは酸化膜エッティングにおいて使用されるが、シリコンエッティングでは使用されない場合が多い。イオン衝突を強化するためのアルゴン等の重不活性ガスの追加は自明のものではない。なぜなら、高いエッティング深度及びアスペクト比の開口部のエッティングにおいて、イオン衝突を強化することが自明のアプローチではないことが明白なためである。特に、シリコン層の上に配置されるマスキング層の厚さは特徴サイズの低下により減少し、また、エッティング完了前にマスキング層を摩滅させる強い衝突は、処理にとって望ましい効果をもたらさないことを考慮すれば、イオン衝突の強化は自明のアプローチではない。

#### 【0024】

強化されたイオン衝突の影響にもかかわらず、こうした改善されたエッティング方法の別の利点は、エッティングの目的でシリコン層をマスクするために使用されるTEOS等のマスキング材料に対する驚くべき選択性である。特徴部のサイズの減少と共に、シリコン層上に配置可能なマスキング層の厚さが減少することを考慮すると、TEOSに対するシリコンの選択性は、エッティング処理において非常に重要な要素となる。シリコン層での深く狭い開口部のエッティングが完了する前にTEOS層が完全に摩滅しないことは絶対に必要な事柄であり、実際、適切な幾何学形状の開口部を達成するにはマスキング材料に対する高い選択性が求められる。衝突剤 (Ar等) を追加しても、改善されたエッティングガス化学剤は、約60:1よりも大きなシリコン:TEOS選択性比率を提供することが分かっており、これは従来技術のエッティングガス化学剤 (Ar等の不活性衝撃強化ガスを利用しないもの) によって提供される約25:1以下の選択性比率よりも大幅に高い。

#### 【0025】

高いエッティング速度、優れたエッティング断面制御、及びマスキング層に対する

高い選択性を有することに加え、この改善されたエッティング方法に内在する別の利点として、次のものがある。すなわち、本発明方法それぞれには重合化ステップのない一度のみのメインエッティングステップを含んでいるため、事前に定められた深度まで行うエッティングを含む業界で一般に使用される深開口部のエッティング方法に比べ、より直接的で汚染の少ない処理となる点である。業界で一般に使用される方法では、エッティングの後、不動態化のための重合化工程が行われ、その後、望ましいエッティング深度に達するまで、こうした交互のシーケンスが繰り返される。対照的に、この改善されたエッティング方法では、有利なことに、一度のメインエッティングによって、望ましいエッティング深度を有する開口部のエッティングが可能となる。

#### 【0026】

##### 【実施例】

下の表では、典型的なシリコンウェーハをエッティングするのに最適なパラメータを示している。四種類の別個の処理A、B、C、及びDに関して、好適なおよその範囲と、更に好適なおよその範囲と、代表値とを提示している。処理A、B、C、及びDによって得られた結果は、それぞれ図2、図5a、図5b、及び図7に表示されている。処理Aは従来技術の処理である。

#### 【0027】

ここに表示されているおよその値の処理パラメータは、一般に、前記のTCP(商標)ブランド9400PTX(商標)プラズマリアクタにおける6インチ(15.24cm)ウェーハのエッティングに適したものである。異なる寸法又はパターン密度を有する基板をエッティングするために、或いは特定のプラズマリアクタの要件に合わせるために、このパラメータを適切に定数倍できること及び又は修正できることは容易に明らかであり、当業者の技能の範囲内にある。

#### 【0028】

表1では、処理室圧力(mTorr)と、最大電力及びバイアス電力(W)と、処理室温度及び下部電極温度と(摂氏温度)、静電チャックでのヘリウム圧力(Torr)と等のプラズマリアクタにおいて使用するのに最適なパラメータの概算範囲、及び図2、図5a、図5b、及び図7に表示されるエッティング結果を

得るために使用される代表パラメータを提示している。表2では、本発明方法で使用されるエッティングガス化学剤の例における基本構成要素のいくつか、例えば、C l<sub>2</sub>、S F<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H e、及びA rの流量 (s c c m) の好適なおよその範囲及び更に好適なおよその範囲と、図に表示されるエッティング結果を得るために使用される特定のガス化学剤に関する数値の例とを提示している。表3では、本発明方法で使用されるエッティング化学剤の例における基本構成要素のいくつか、例えばC l<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H e、及びA rの流量の好適なおよその範囲、更に好適なおよその範囲、及び代表パラメータを、S F<sub>6</sub>流量に対するパーセンテージの形式で提示している。

### 【0029】

ガス構成要素のいくつかは特定のガス化学剤に存在する場合と存在しない場合とがあると理解される。例えば、C l<sub>2</sub>は、従来技術の処理において初期ブレークスルーエッティング用に使用されるC F<sub>4</sub>とほぼ置き換わる形で使用される。このため、処理Aにおいて使用されるブレークスルーエッティングガス化学剤の主要な構成要素ではない。更に、表2に列挙されたガス化学剤構成要素はすべてを包括するものではなく、特定の目的を達成するために、或いは使用される特定のタイプのエッティング設備の具体的な必要性を満たすために、ガス化学剤に他のタイプのガスを含めることもできる。しかしながら、超深開口部をエッティングするメインエッティングにおいて使用するに最も好適なガス化学剤には、表2に提示されるもの、つまりS F<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、H e、及びA r以外には、任意の有意な量の添加ガスは含まれない。

### 【0030】

【表1】

エッチング パラメータ	好適な およその 範囲	更に好適 なおよそ の範囲	およその 代表パラメータ値			
			A	B	C	D
処理室圧力 (mTorr)	40 ~110	50 ~100	80	80	80	60
最大電力(W)	300~ 2000	400~ 1200	500	500	500	1000
バイアス電力	10 ~100	20 ~30	25	25	25	25
後部ヘリウム 圧力(Torr)	4 ~14	6 ~10	8	8	8	8
下部電極温度 (°C)	0 ~70	15 ~60	50	30	20	20
処理室温度 (°C)	20 ~70	40 ~70	60	50	50	50

表1

【0031】

【表2】

エッチングガ ス化学物質構 成要素／流量 (sccm)	好適な およその 範囲	更に好適 なおよそ の範囲	およその 代表パラメータ値			
			A	B	C	D
C <sub>2</sub> (sccm)	50 ~200	80 ~120	なし	100	100	100
S F <sub>6</sub> (sccm)	20 ~90	35 ~55	45	45	45	45
O <sub>2</sub> (sccm)	10 ~70	25 ~45	35	35	35	35
H e (sccm)	100 ~400	150 ~250	200	200	200	200
A r (sccm)	100 ~400	150 ~250	なし	なし	なし	なし

表2

【0032】

【表3】

エッティングガス化学物質構成要素流量(SF <sub>6</sub> 流量に対する%)	好適なおよその範囲	更に好適なおよその範囲	およその代表パラメータ値
C <sub>12</sub> (%)	110~330	180~270	222
O <sub>2</sub> (%)	40~120	60~90	80
H <sub>e</sub> (%)	200~650	350~550	444
A <sub>r</sub> (%)	200~650	350~550	444

表3

## 【0033】

以上、本発明をいくつかの好適な実施形態に基づき説明してきたが、本発明の範囲に含まれる変更、置換、及び等価物が存在する。更に、本発明の方法及び装置を実施する数多くの代替方法が存在することにも留意されたい。例えば、この方法は、純粋なシリコンウェーハと同様にポリシリコン層において深開口部をエッティングするために利用することができる。更に、本発明方法を使用してエッティングされる開口部のエッティング深度は、好適な実施形態において提示された例によって全く制限されない。本発明の方法を利用し、エッティングパラメータのいくつかに適切な調整を施すことで、大きなエッティング深度を有し垂直断面等の望ましいその他の特性を有する開口部が得られると考えられる。したがって、前記特許請求の範囲は、本発明の趣旨及び範囲に入るこうしたすべての変更、変形、及び等価物を含むものとして解釈されるべきである。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

従来技術のエッティングガス化学剤を利用して深開口部をエッティングする従来技術の方法に含まれるステップを示す図。

## 【図2】

従来技術のエッティング方法を使用してエッティングされたシリコン層の深開口部の断面図。

## 【図3】

本発明の一態様による、改善されたガス化学剤と共に適切に利用可能なプラズマリアクタの簡略図。

【図4】

本発明の一態様による、深開口部をエッティングする第一の発明方法に含まれるステップを示す図。

【図5 a】

本発明の一実施形態にしたがって本発明のエッティング方法を使用してエッティングされたシリコン層の深開口部の断面図。

【図5 b】

図5 aと同じ本発明のエッティング方法を使用してシリコン層に超深開口部をエッティングすることを試みて得られた結果の断面図。

【図6】

本発明の別の態様にしたがって第二のエッティングガス化学剤を使用して超深開口部をエッティングする第二の発明方法に含まれるステップを示す図。

【図7】

本発明の一実施形態による第二の発明方法を使用してエッティングされたシリコン層の超深開口部を示す断面図。

【符号の説明】

202、504、514、704 … シリコン層

204 … マスキング層

206 … 深トレンチ

208 … 弓状特徴部

210 … ノッチ状特徴部

302 … ウエーハリアクタ

304 … プラズマ処理室

306 … 石英窓

308 … コイル

310、320 … 発電器

312 … ガス送出口

314 … 高周波誘導プラズマ領域

316 … ウエーハ

318 … 静電チャック

502、512 … 深開口部

516 … 傾斜断面

702 … 超深開口部

【図1】

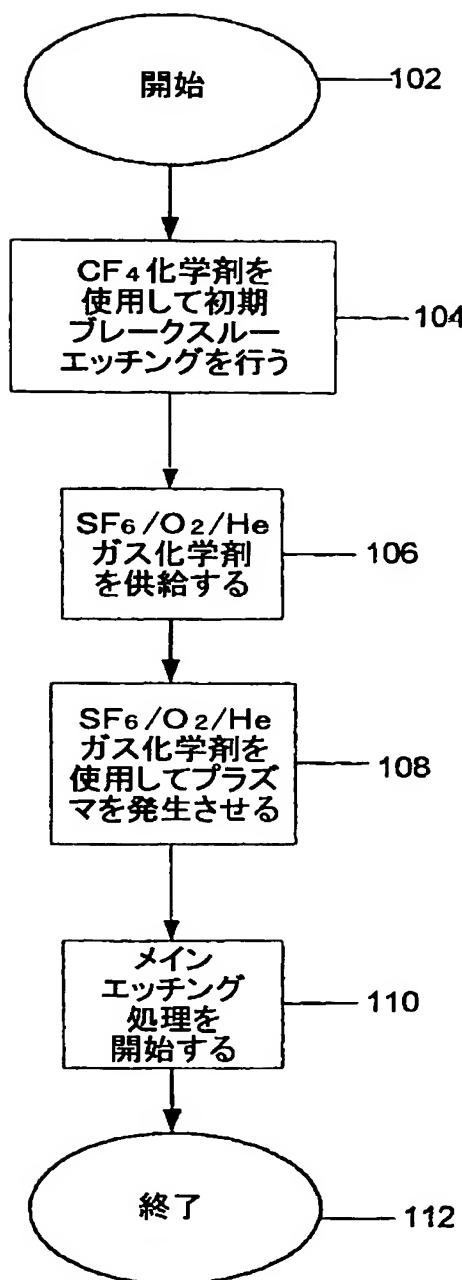


Fig. 1

【図2】

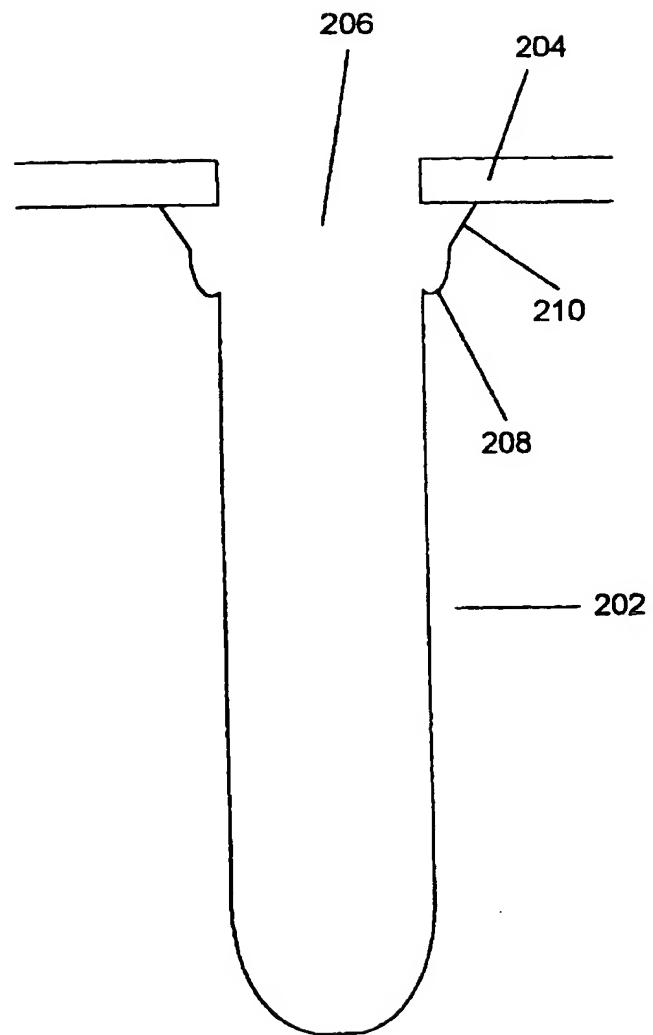


Fig. 2

【図3】

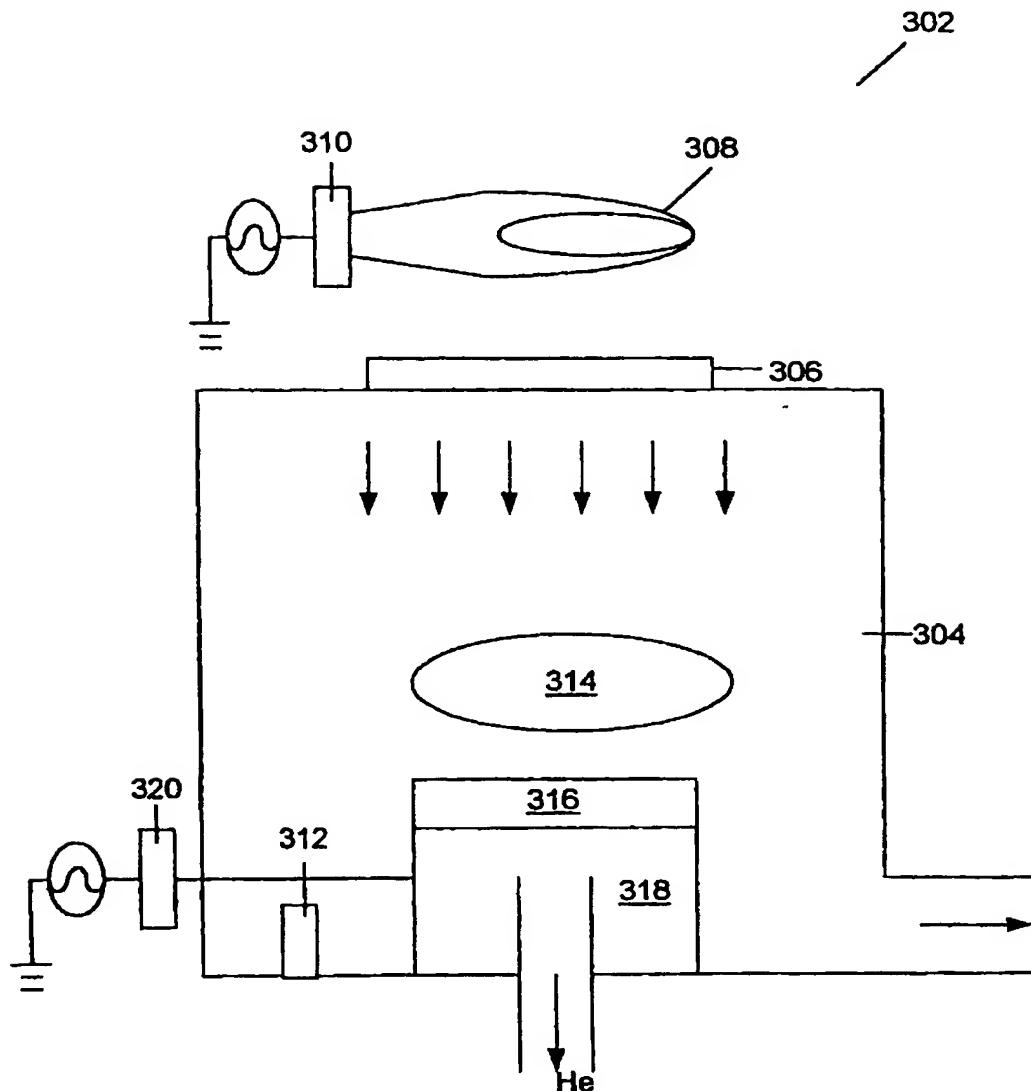


Fig. 3

【図4】

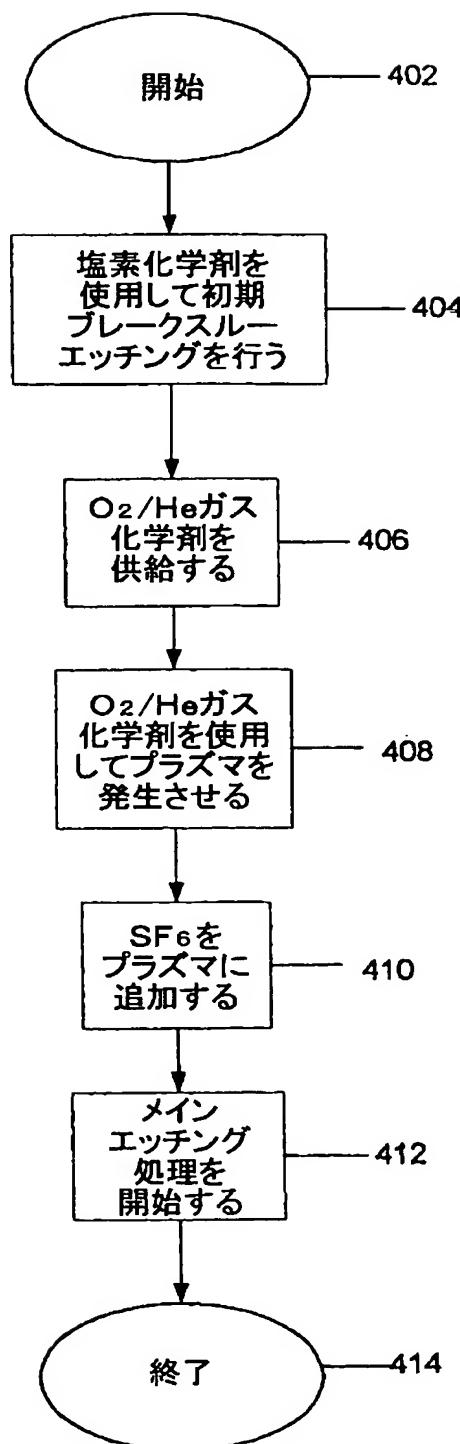


Fig. 4

【図5 a】

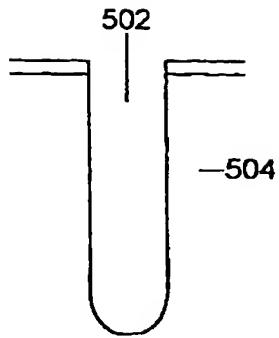


Fig. 5(a)

【図5 b】

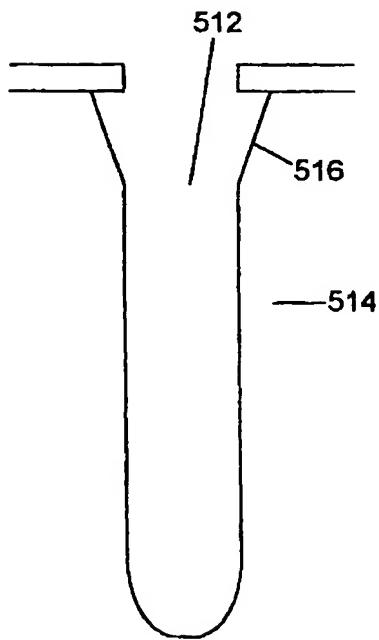


Fig. 5(b)

【図6】

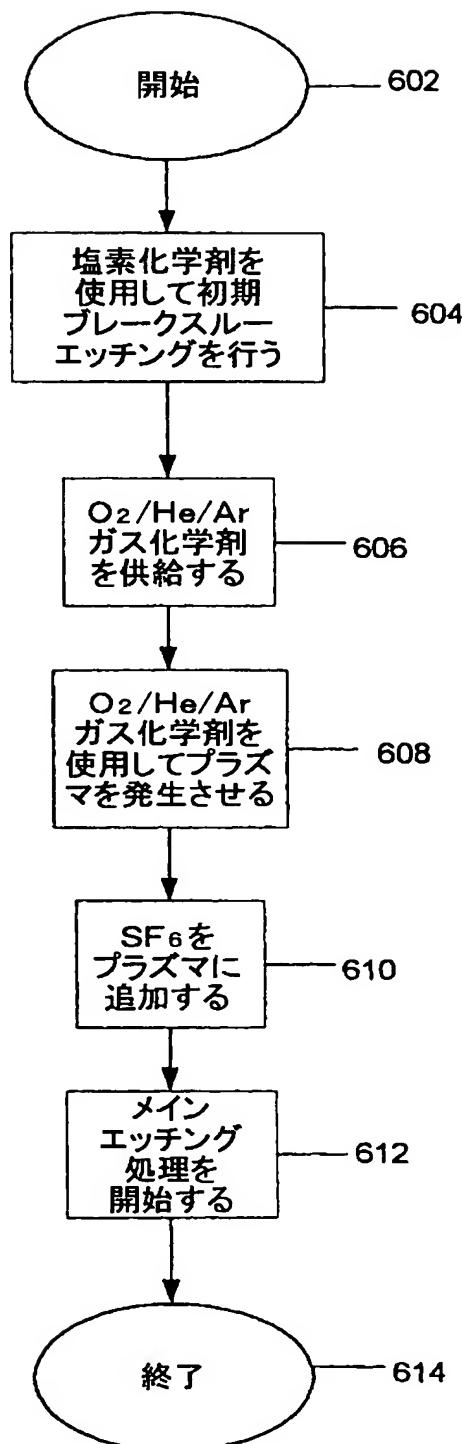


Fig. 6

【図7】

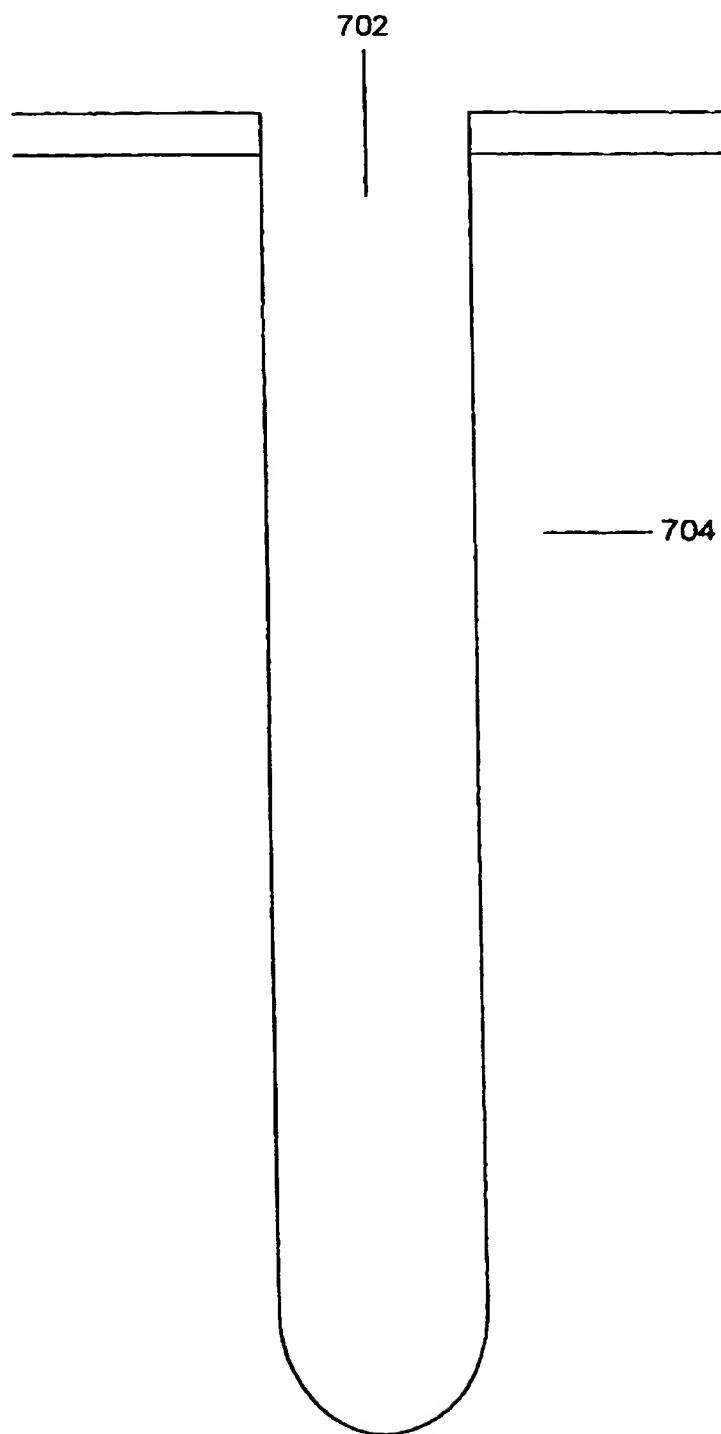


Fig. 7

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 00/09447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01L21/3065		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) PAJ, INSPEC, IBM-TDB, EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 047 115 A (CHARLET BARBARA ET AL) 10 September 1991 (1991-09-10) column 2, line 54 -column 3, line 32; claims 1,3-5 -----	1-32
A	BURTSEY A ET AL: "An anisotropic U-shaped SF6-based plasma silicon trench etching investigation" MICROELECTRONIC ENGINEERING,NL,ELSEVIER PUBLISHERS BV., AMSTERDAM, vol. 40, no. 2, 1 July 1998 (1998-07-01), pages 85-97, XP004128754 ISSN: 0167-9317 the whole document ----- -/-	1-32
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the International filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the International search  24 July 2000		Date of mailing of the international search report  31/07/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5010 Paterlaan 2 NL - 2290 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epot nl Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Szarowski, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l	Application No
PCT/US 00/09447	

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 726 879 A (BONDUR JAMES A ET AL) 23 February 1988 (1988-02-23) column 2, line 15 - line 21 abstract -----	1-32
1		

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/US 00/09447

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5047115 A	10-09-1991	FR	2616030 A	02-12-1988
		DE	3873337 A	03-09-1992
		DE	3873337 T	11-02-1993
		EP	0359777 A	28-03-1990
		WO	8809830 A	15-12-1988
US 4726879 A	23-02-1988	EP	0256311 A	24-02-1988
		JP	2010491 C	02-02-1996
		JP	7044175 B	15-05-1995
		JP	63065625 A	24-03-1988

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5F004 AA01 AA05 BA20 BB13 BB22  
BB25 CA02 DA00 DA01 DA04  
DA16 DA17 DA18 DA22 DA23  
DA26 DB01 DB02 EA03 EA28  
EB08